



交通部鐵路改建工程局
南部工程處

高雄鐵路地下化煙控系統介紹



鐵路改建工程局南部工程處

主講人:溫智翔隊長

中華民國106年4月25日



簡報大綱

高雄鐵路地下化簡介

隧道通風系統運轉模式規畫

模擬軟體簡介及模擬情境結果

高雄鐵路地下化隧道通風系統概況

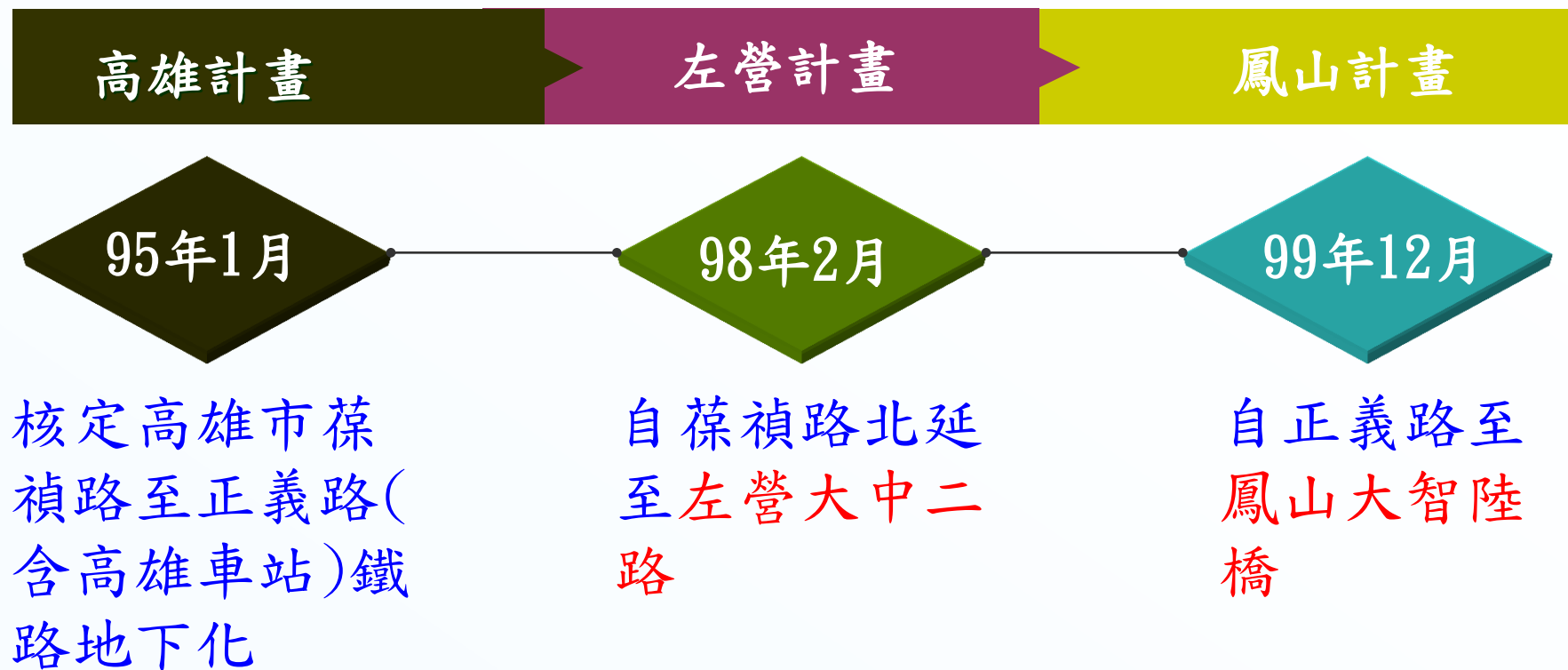


壹、

高雄鐵路地下化簡介



一、計畫緣起



➤ 工程經費：合計998.69億元





二、地理位置及範圍

計畫總長約17.7公里，包含15公里單孔雙軌隧道一座，除將原有之左營、高雄與鳳山車站地下化外，另增設內惟站、美術館站、鼓山站、三塊厝站、民族站、科工館站、正義站等7處臺鐵捷運化通勤車站。



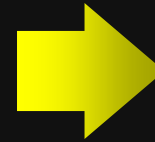


三、鐵路車站之歷史演化

營運導向



使用者導向



融入在地人文



臺北車站



板橋車站



高雄車站





左營東門城



蓮池潭

- 左營站：古垣新圳
- 以步道系統，藍色水路系統，自行車道及廣場四項作為主要設施元素，將人潮活動以及綠意帶回都市景觀。



臺鐵三塊厝站-市定古蹟



三塊厝新站

- 三塊厝站：歷史記憶
- 建築以融入當地人文及原舊站之歷史特性，採木構造呼應舊站懷舊意象。





臺鐵高雄車站-帝冠式

- 高雄站：港都特色
- 以大型市民聚會廣場，將視線聚焦於舊站歷史建物，以彰顯歷史文化傳承。
- 將成為多功能轉運中心及高雄市中心的新地標。



高雄新站示意圖



四、通車期程

107年5月

完成通車
所需工項

107年6月

南工處自主
檢查及鐵工
局自行檢查

107年7月

臺鐵局聯合檢
查、系統整合
測試及穩定度
測試

107年8月

交通部履勘及
通車啟用



貳、

隧道通風運轉模式規畫



一、地下車站及隧道火災而引起之災例

1995年10月29日於亞塞拜然共和國首府巴庫，一列五節車廂之列車，因列車機件故障，列車於地下隧道內發生嚴重火災，共造成289人死亡，265人受傷。



2003年2月19日南韓大邱地鐵召人蓄意縱火，火災位於中央車站內之電聯車內，其後駛入車站的列車亦被波及而起火，共造成130多人死亡，140人受傷。



二、隧道通風系統設置目的

- 保持隧道內溫度在 40°C 以下。

- 排除隧道內廢氣。

NO_x 濃度：根據PIARC之規定， NO 濃度不得超過25 PPM， NO_2 濃度不得超過2.5 PPM，建議尖峰每小時平均值不超過5 PPM，且在尖峰8小時平均值不超過3 PPM。

CO 濃度：根據PIARC之規定， CO 濃度介於100 ~ 150 PPM，建議每小時平均值不超過100 PPM，在任何時候不超過400 PPM。

- 隧道發生火災時，通風系統煙控功能必須發揮其應有的功效，保持逃生路徑或是避難區域不受濃煙侵襲，讓人員順利安全避難。

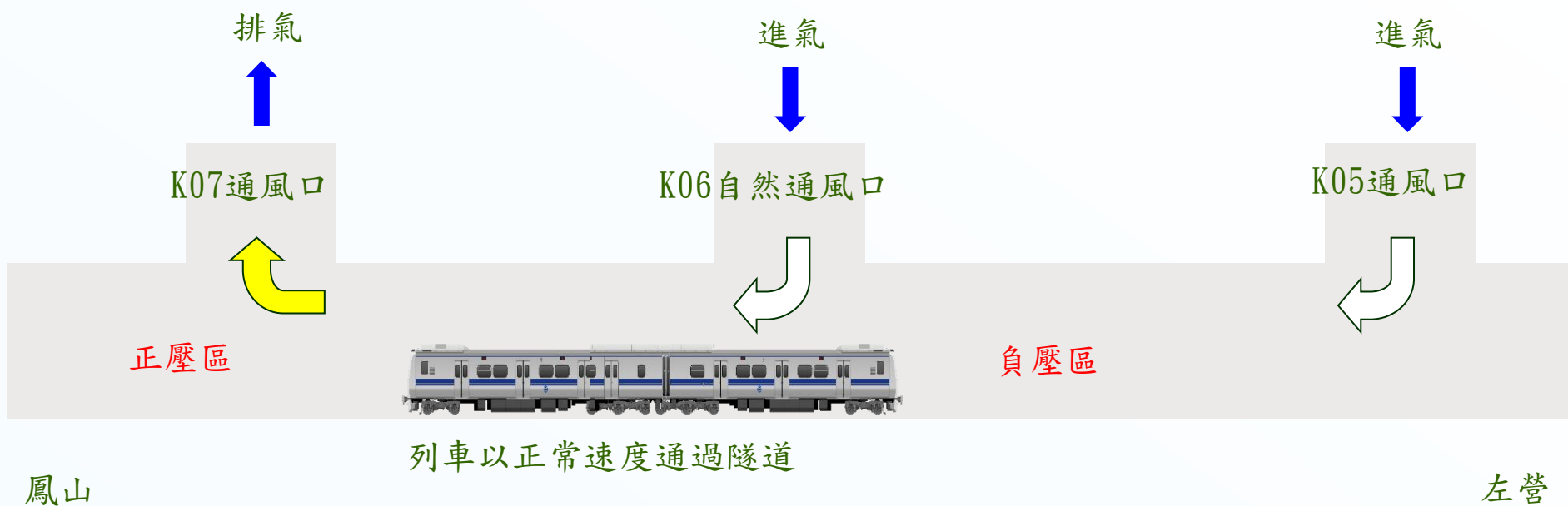




三、隧道通風運轉模式

■ 正常模式-自然通風

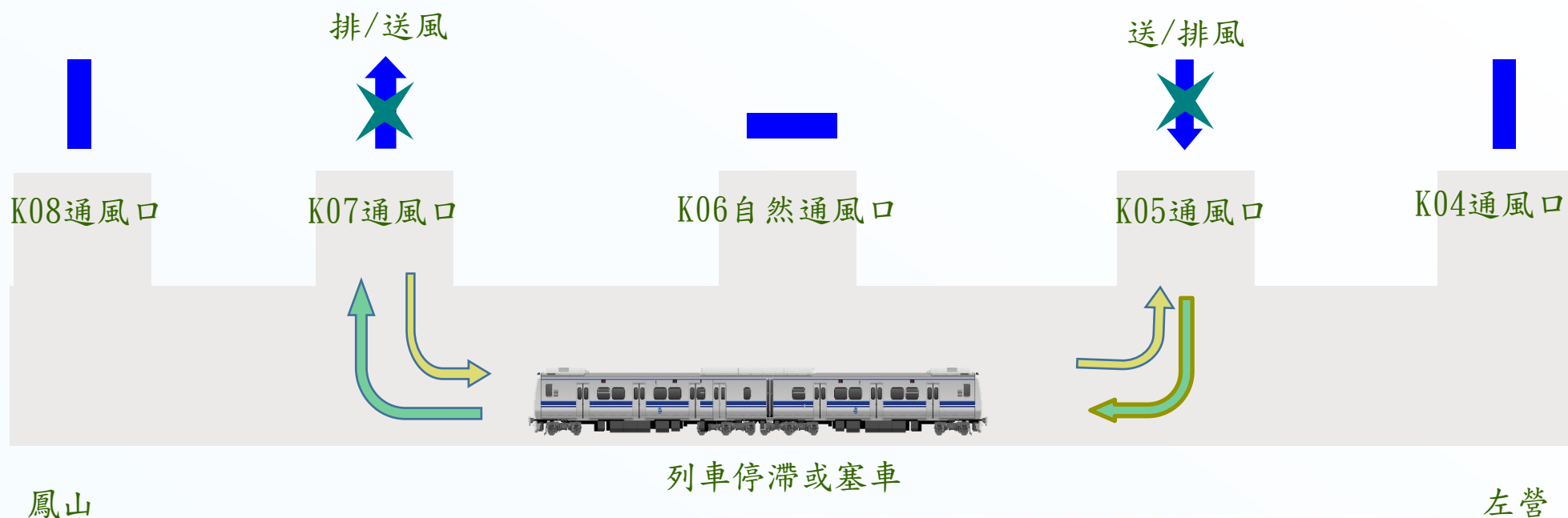
藉由列車運行所產生活塞效應，使隧道氣流流動，達到隧道換氣功能，維持適當之隧道環境。





■ 塞車模式-機械通風

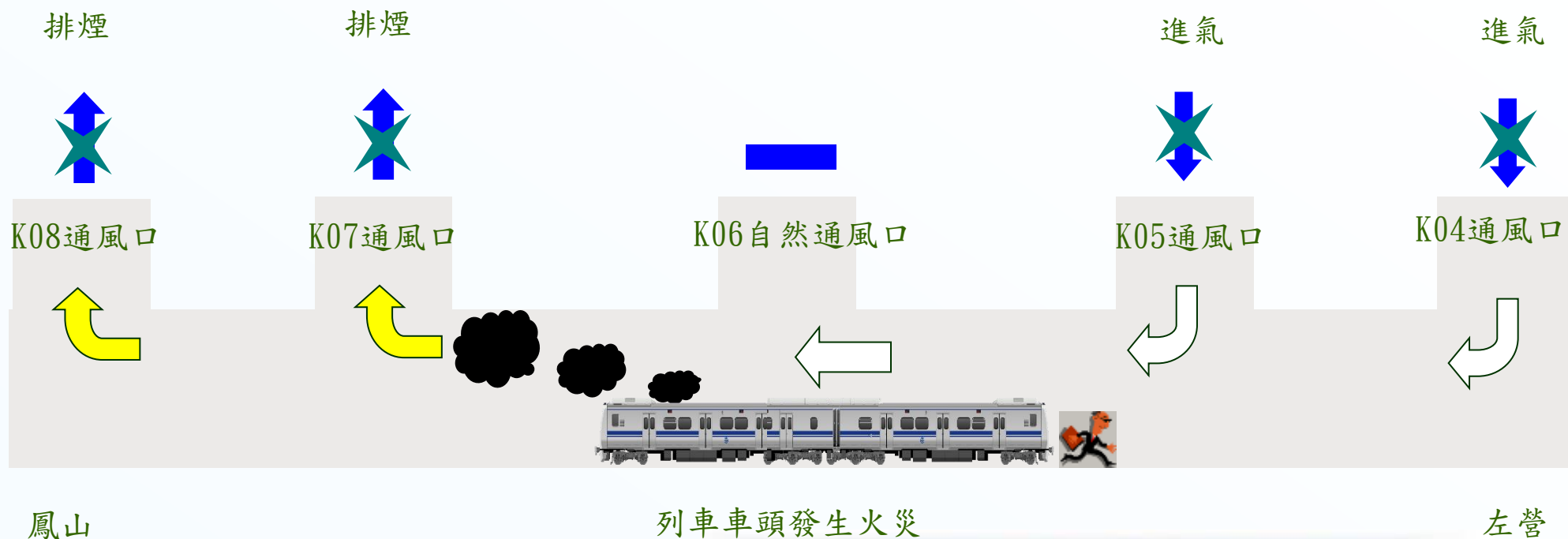
列車於隧道停滯或塞車時，因**活塞效應停止**，積蓄廢氣或長時間蓄熱，可能致使隧道內溫度或氮氧化物濃度，超過安全設定值，**透過機械方式通風**，排除列車周圍之高溫，並達到隧道環境標準。





■ 緊急模式-機械通風

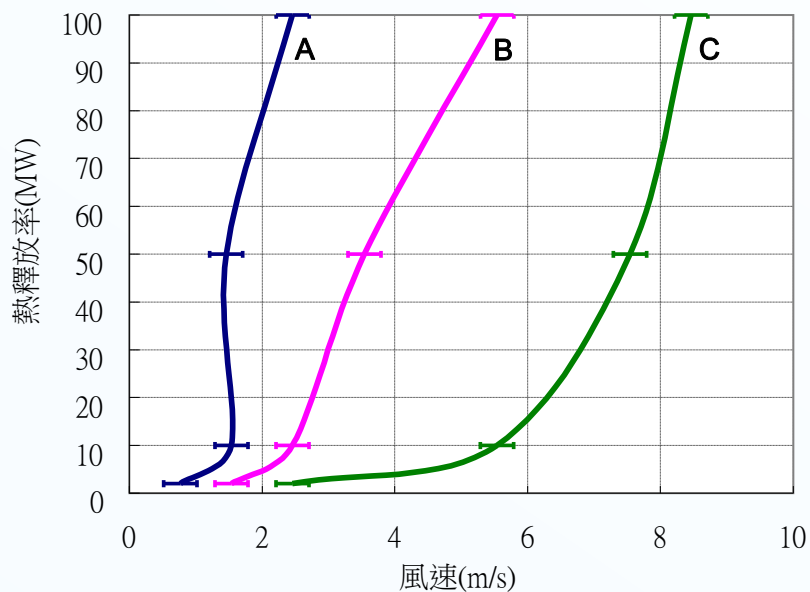
列車於隧道內火災，依行車運轉人員通報，開啟適當通風機，使人員可藉由新鮮空氣之流向，選擇逆風方向逃生，氣流達到臨界速度以上，防止煙之回流，維持避難徑路的安全。



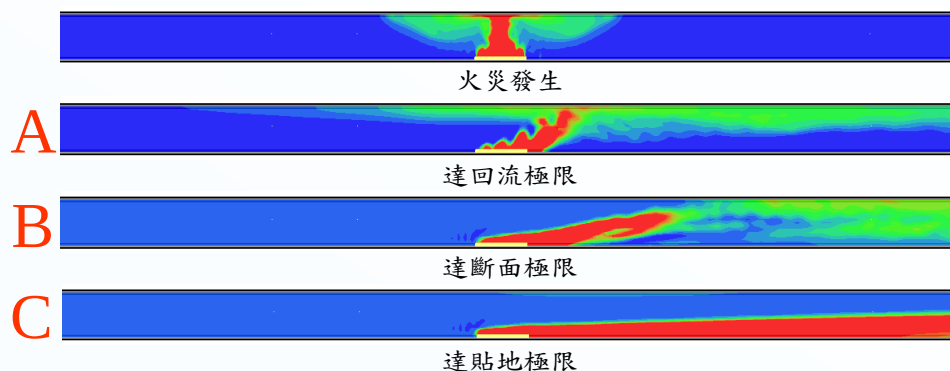


➤ 緊急模式-臨界速度之要求

當火災發生時，由火源散發大量的熱，使空氣密度變小，造成空氣流動，同時伴隨大量熱煙往兩側擴散，為控制煙熱擴散方向所需的氣流速度，稱為臨界速度 V_c (Critical Velocity)。



- ★ A線：回流極限，左邊區域有回流。
- ★ A—B線間：安全區
- ★ B線：斷面極限，左邊區域不充滿斷面。
- ★ C線：貼地極限，右邊區域濃煙脫離頂部貼地面。



隧道風速與熱煙擴散關係示意圖





➤ 臨界速度上下限之參考文獻

SUBWAY ENVIRONMENTAL DESIGN HANDBOOK

Volume I Principles and Applications 2nd Edition

Prepared by Associated Engineers - A Joint Venture
Parsons, Brinckerhoff, Quade & Douglas, Inc.
De Leuw, Cather & Company
Kaiser Engineers

Under the Direction of the
TRANSIT DEVELOPMENT CORPORATION, INC.

1976

Prepared for
UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
Urban Mass Transportation Administration
Office of Research and Development
Washington, D.C. 20590

Emergency

2-27

Patron mobility in such air velocities would be increased by providing handrails along the emergency walkways. Usually, the highest air velocities will occur in the annular region between the train and the tunnel. Above 2,200 fpm, some of the patrons may experience difficulty in walking.

In some instances, it may be desirable for fresh air to be felt by the patrons to give them a sense of direction enabling them to walk away from the emergency condition. If this air motion is to serve as an indicator for patrons, it must be at least 500 fpm. If air motion is to be used as an indicator, however, it must be recognized that there will be some instances when there is no practical way to get fresh air to all the patrons. Also, if fresh air is not to be used as a direction indicator, there still will be a lower limit to air velocity in a potentially contaminated evacuation route because of ventilation rates needed to meet the air quality or air temperature criteria.

REFERENCES

1. Houghten, F.C., et al., "Heat and Moisture Losses from Men at Work and Application to Air Conditioning Problems," Transactions, American Society of Heating and Ventilating Engineers, Vol. 37, pp. 541-564, 1931.
7. "Specifications for Rapid Transit Cars," Institute for Rapid Transit, Chicago, 1968.
8. Carey, Jack M., "Subway Dust Survey in Toronto, Canada and Chicago, Illinois," American Air Filter Company Report No. RP 1833, De Leuw, Cather & Co., Washington, D. C., 1968.
9. "Occupational Safety and Health Standards," Federal Register, Vol. 37, No. 202, Pt. II, Oct. 18, 1972.
10. "Industrial Ventilation," 11th ed., American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Committee on Industrial Ventilation, Lansing, Mich., 1970.
11. Givoni, B., "Basic Study of Ventilation Problems in Housing in Hot Countries Final Report," Technion, Haifa, Israel, 1962.
12. Overmeyer, E. J., "How Face Air Velocity Affects Airplane Passenger Comfort," ASHRAE Journal, Vol. 3, No. 8, pp. 41-44, Aug. 1961.
13. Blendermann, W., "The Ventilation Problem in Underground Railways," Report No. 135 of the

NFPA 130

Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems

B.2.1.4 Air Velocities.

B.2.1.4.1 Air velocities in enclosed stations and trainways should be greater than or equal to 0.75 m/sec (150 fpm).

B.2.1.4.2 Air velocities in enclosed stations and trainways that are being used for emergency evacuation or by emergency personnel should not be greater than 11.0 m/sec (2200 fpm).

緊急模式設計一般要求:火災地點風速應高於臨界速度,小於11m/s

A yellow rectangular tag with rounded corners and a dashed border, featuring a circular hole punch on the left side. The tag is placed over a background of a blue sky with clouds and a white envelope.

參、

模擬軟體簡介及模擬情境 結果



二、SES程式模擬分析

- SES (Subway Environmental Simulation Computer Program, 地鐵環境模擬程式)，於1975由美國交通運輸部發行。
- 用於地下鐵工程如捷運，鐵路地下化工程、公路隧道等，地下隧道通風系統配置與評估
- SES程式版本更新

Version 1 - 1975

(Analyze 26 underground rail transit systems, 6 mainline rail tunnels)

Version 2 - 1976

Version 3.0 - 1982 (PC, 1991)

Version 4.0 - 1998 (Windows, Parsons Brinckerhoff and ICF-Kaiser Engineer)

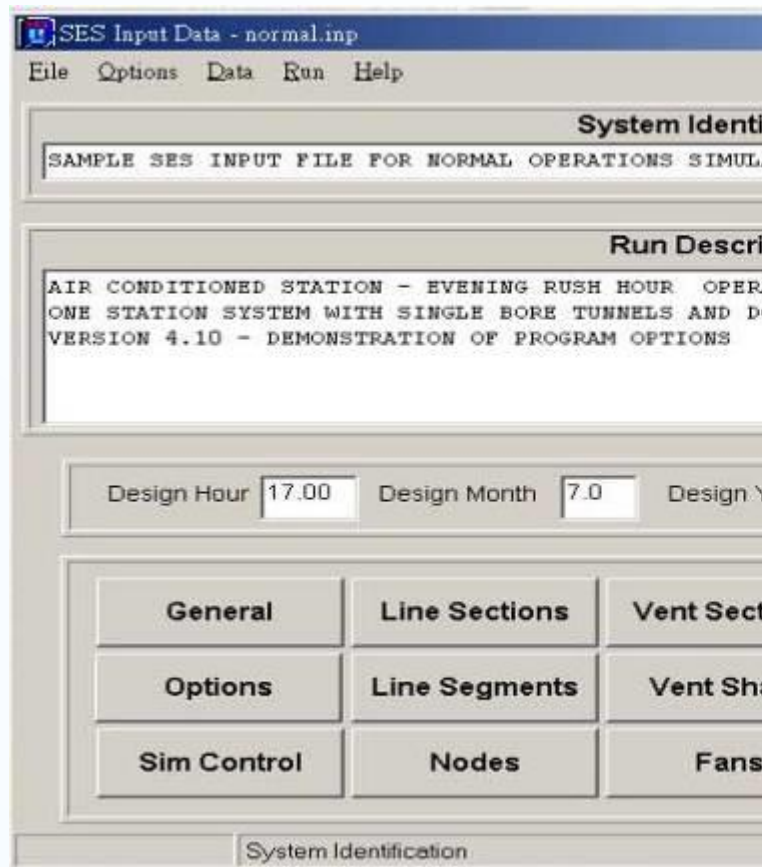
Version 4.1 - 2002.01





■ SES程式輸入項目(一)

程式表頭 →



輸入畫面



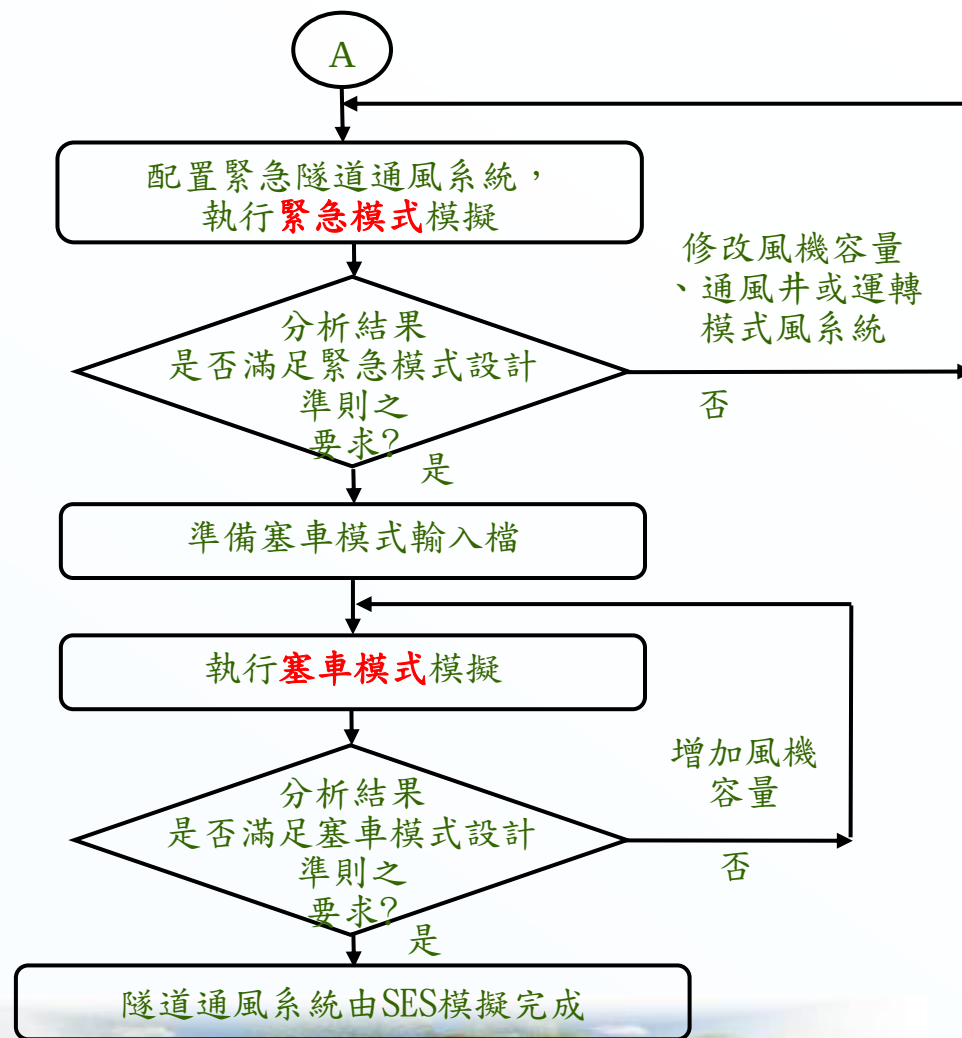
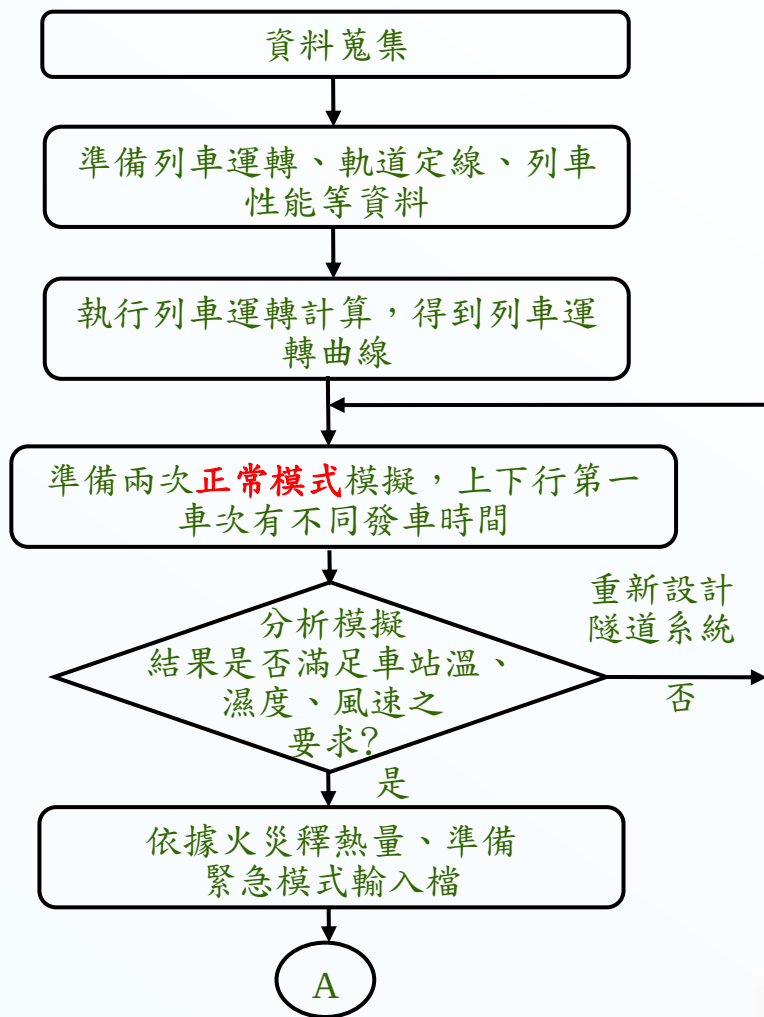
■ SES程式輸入項目(二)

編號	輸入項目
1(1A-1G)	共通性資料(GENERAL DATA)
2(2A-2B)	系統區段配置(SYSTEM GEOMETRY)
3(3A-3F)	區段資料(LINE SEGMENT DATA)
4	火源(UNSTEADY HEAT SOURSES)
5(5A-5D)	通風井(VENTILATION SHAFT DATA)
6(6A-6H)	節點配置(NODE DATA)
7(7A-7C)	風機性能(FAN DESCRIPTION)
8(8A-8F)	列車運轉軌道定線(TRAIN ROUTE DESCRIPTION)
9(9A-9L)	列車性能(TRAIN DATA)
10	列車起始資料(TRAIN INITIALIZATION DATA)
11(11A-11B)	環控區配置(ENVIRONMENTAL CONTROL ZONES)
12	輸出控制(PRINT & CYCLE CONTROL DATA)
13	程式執行控制(PROGRAM CONTROL DATA)





■ SES程式分析流程





■ SES程式模擬的功能

➤ 正常模式

確認隧道系統的通風口數量、面積、坡度、曲度等配置，
隧道氣流對地下車站空調系統負荷的影響，能藉列車活塞效應，達到隧道內溫度 40°C 以下及污染物濃度設計條件要求。

➤ 塞車模式

確認所提供通風氣流，能降低隧道溫度，使列車之空調設備可正常運轉。

➤ 緊急模式

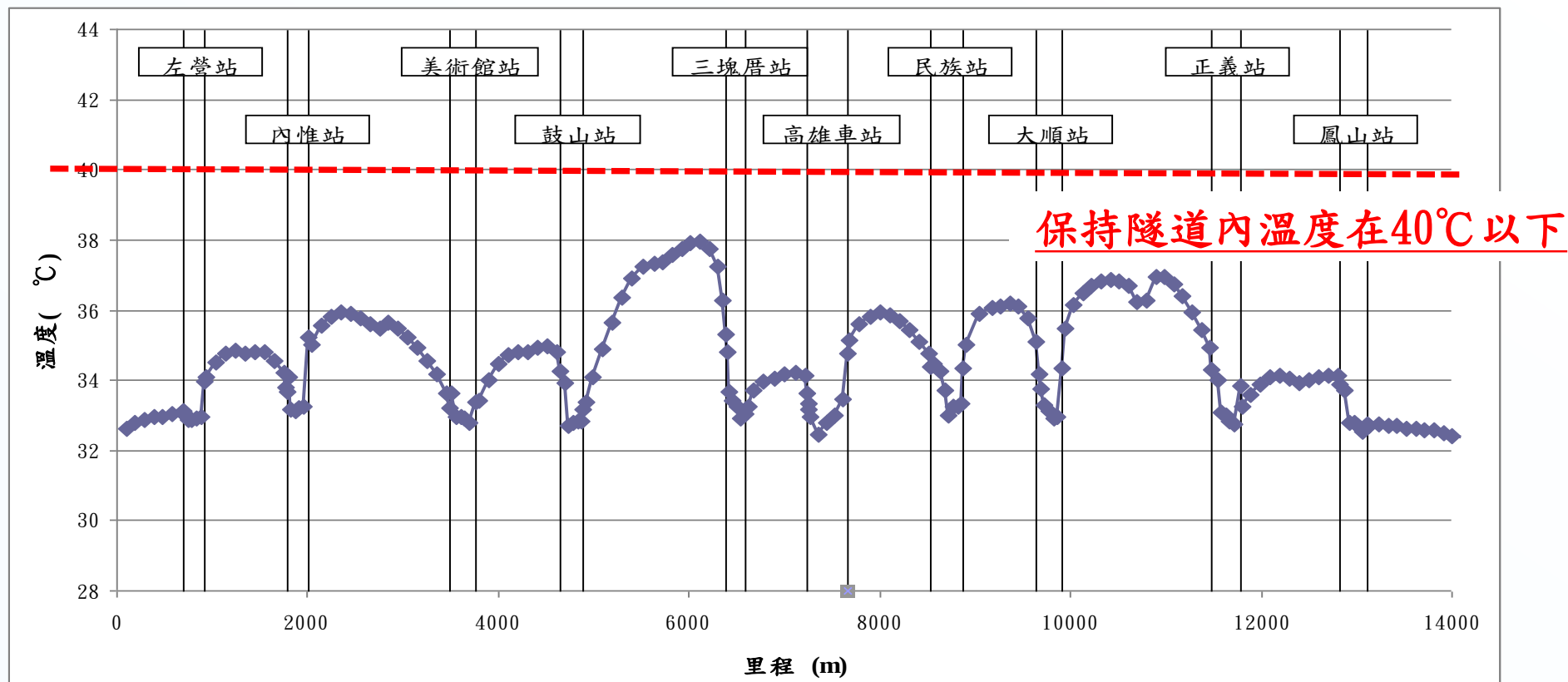
用來決定各隧道風機容量。確認隧道通風系統運轉產生的氣流均可達到臨界速度以上，抵抗火災煙擴散，以利人員由逆風方向逃生，維持避難路徑的安全。





■ SES程式模擬分析結果

➤ 正常模式-隧道平均溫度示意圖

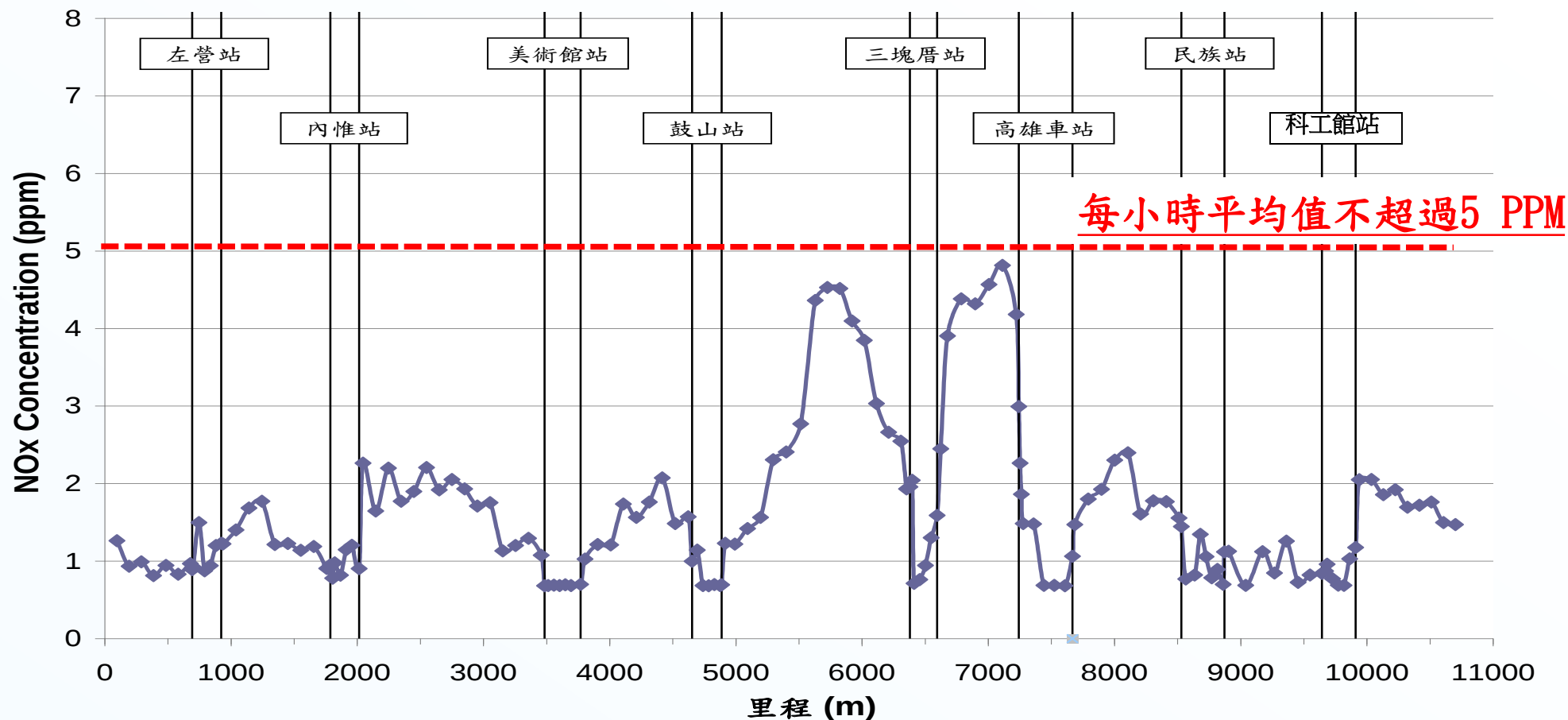


輸入條件: 臺鐵列車尖峰小時24列次, 長途列車6列次





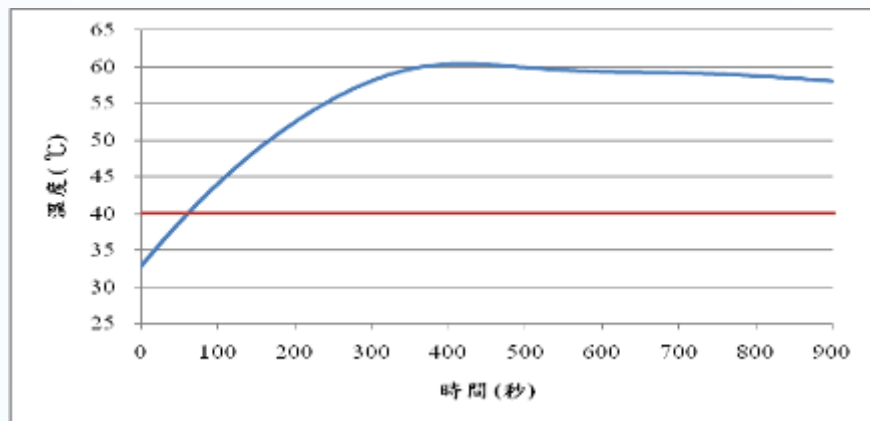
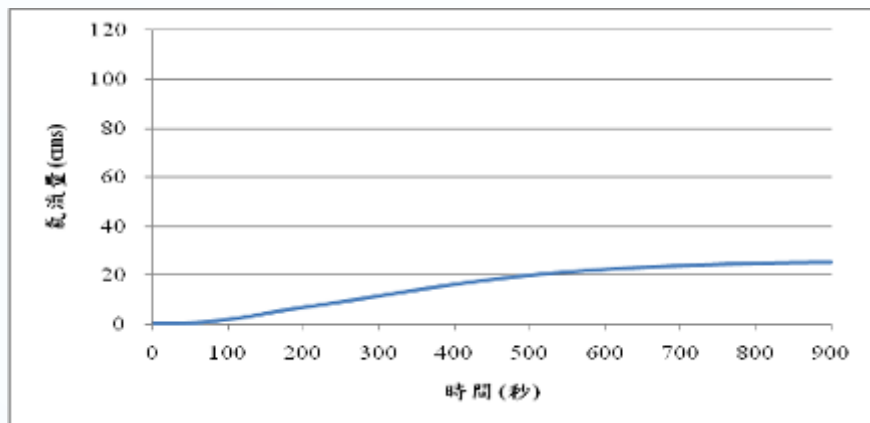
➤ 正常模式-隧道內NO_x分布示意圖



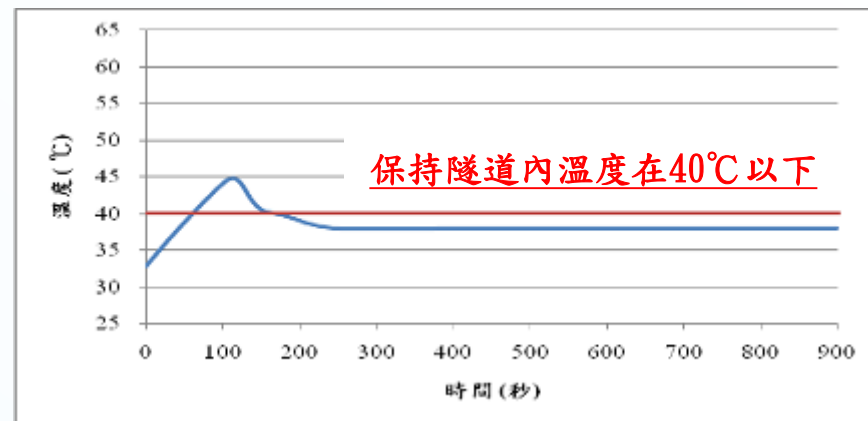
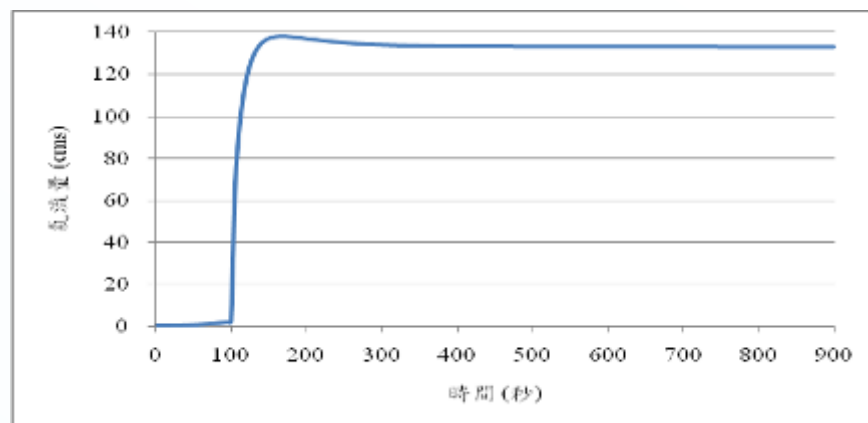
輸入條件:尖峰小時 24 列次, 長途車6列次(含柴油車3列次)



➤ 塞車模式



塞車模式-模擬風機無啟動



塞車模式-模擬風機啟動



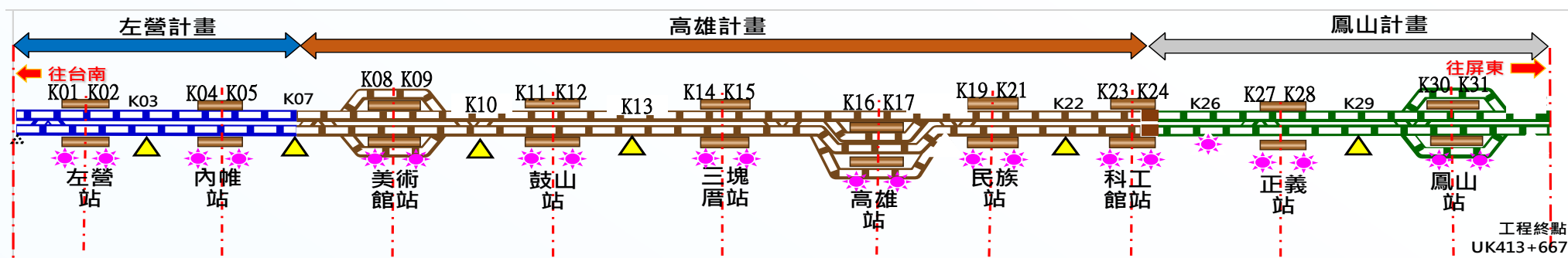


緊急模式-各車站模擬成果彙整表

項目	檔案名稱	安全區劃		火災位置	火災規模(MW)	SES模擬結果				臨界速度(Vc)(m/s)	最小縱向速度(m/s)	符合條件
		通風口範圍	編號			區段名稱	坡度(%)	溫度(℃)	環狀氣流速度(m/s)			
1	TKES01F	EXIT - K04	T01	車頭	30 MW	4	-1.43	158.44	3.26	2.34	2.29	符合
2	TKES02F	K01 - K05	T03	車頭	30 MW	22	-0.17	168.83	3.02	2.24	2.17	符合
3	TKES03F	K04 - K08	T05	車頭	30 MW	46	0.27	169.72	3.00	2.25	2.11	符合
4	TKES04F	K07 - K11	T07	車頭	30 MW	60	-0.87	157.28	3.31	2.30	2.32	符合
5	TKES05F	K10 - K14	T09	車頭	30 MW	84	-0.61	153.67	3.40	2.28	2.38	符合
6	TKES06F	K13 - K19	T11	車頭	30 MW	108	0	185.72	2.40	2.22	2.06	符合
7	TKES07F	K16 - K20	T13	車頭	30 MW	136	-0.13	169.56	3.00	2.24	2.13	符合
8	TKES08F	K19 - K23	T15	車頭	30 MW	162	1.39	156.89	3.30	2.34	2.31	符合
9	TKES09F	K22 - K26	T17	車頭	30 MW	176	0.5	153.56	3.37	2.54	2.36	符合
10	TKES10F	K26 - K30	T20	車頭	30 MW	198	0	166.91	3.51	2.47	2.46	符合
11	TKES11F	K30 - EXIT	T22	車頭	30 MW	218	1.4	140.60	3.66	2.62	2.57	符合
12	TKES01R	EXIT - K02	T01	車尾	30 MW	4	-1.43	181.50	2.77	2.34	2.03	符合
13	TKES02R	K01 - K05	T03	車尾	30 MW	22	-0.17	164.22	3.12	2.24	2.19	符合
14	TKES03R	K04 - K08	T05	車尾	30 MW	46	0.27	178.22	2.83	2.25	2.02	符合
15	TKES04R	K07 - K11	T07	車尾	30 MW	60	-0.87	155.56	3.36	2.30	2.35	符合
16	TKES05R	K08 - K14	T09	車尾	30 MW	84	-0.61	144.45	2.63	2.28	2.14	符合
17	TKES06R	K11 - K17	T11	車尾	30 MW	108	0	188.61	2.38	2.22	2.06	符合
18	TKES07R	K16 - K20	T13	車尾	30 MW	136	-0.13	165.44	3.09	2.24	2.16	符合
19	TKES08R	K19 - K23	T15	車尾	30 MW	162	1.39	150.17	3.13	2.34	2.19	符合
20	TKES09R	K22 - K26	T17	車尾	30 MW	176	0.5	153.83	3.24	2.54	2.27	符合
21	TKES10R	K26 - K30	T20	車尾	30 MW	198	0	150.64	3.38	2.47	2.37	符合
22	TKES11R	K30 - EXIT	T22	車尾	30 MW	218	1.4	155.00	3.23	2.62	2.26	符合



三、通風口示意圖



21個機械兼自然通風口，6個自然通風口



美術館K08通風口



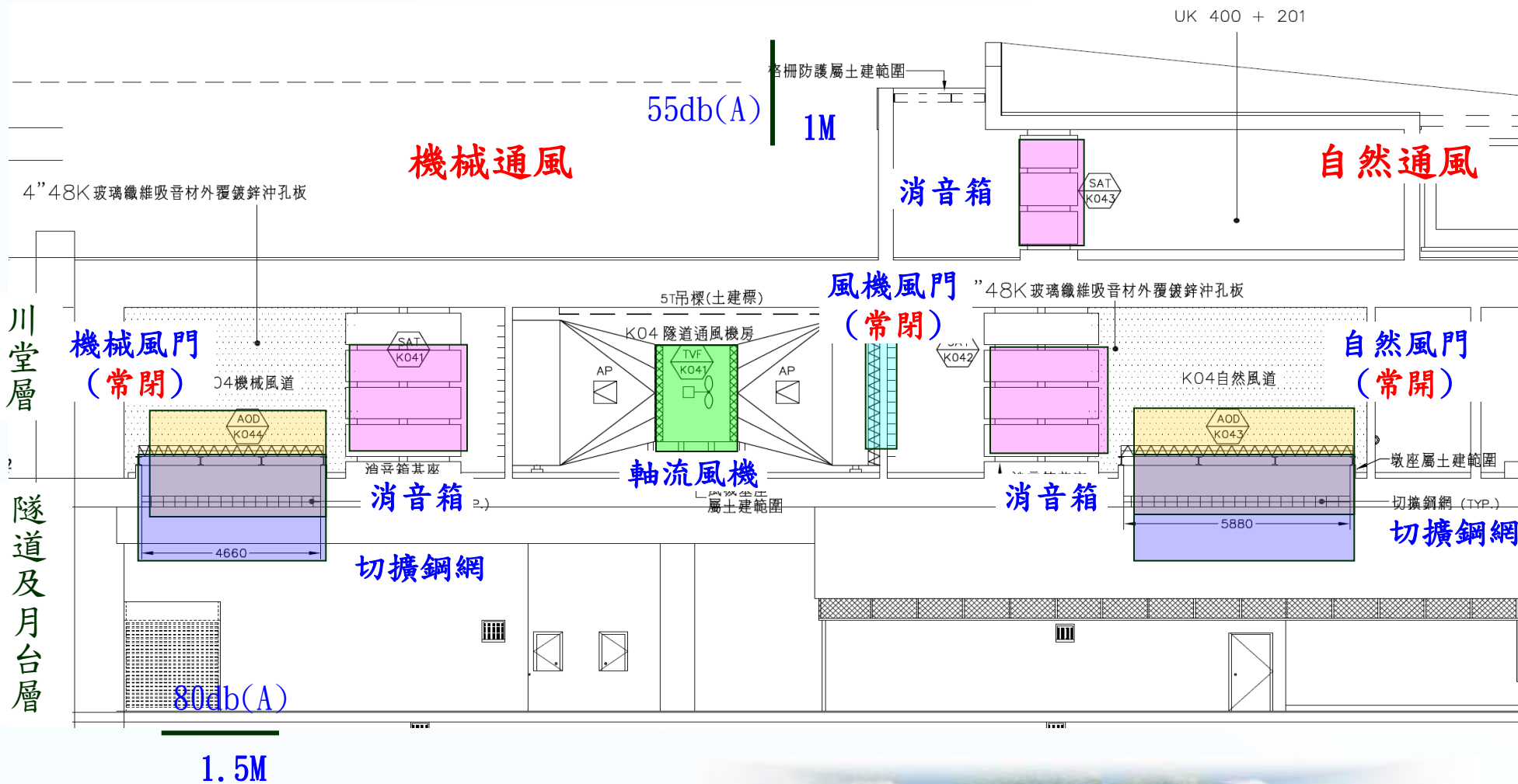
K10自然通風口



三塊厝K14通風口

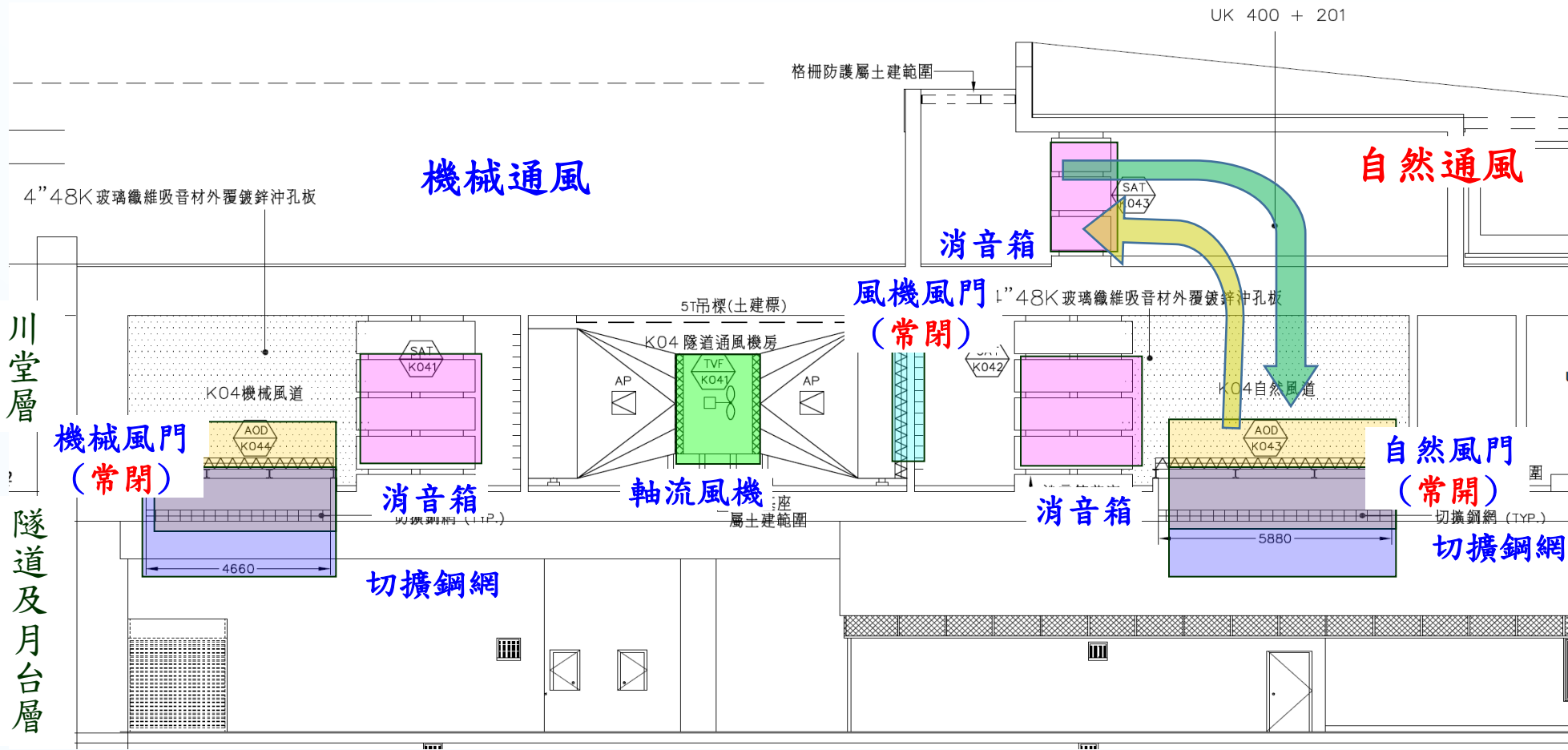


四、機械兼自然通風口配置剖面圖



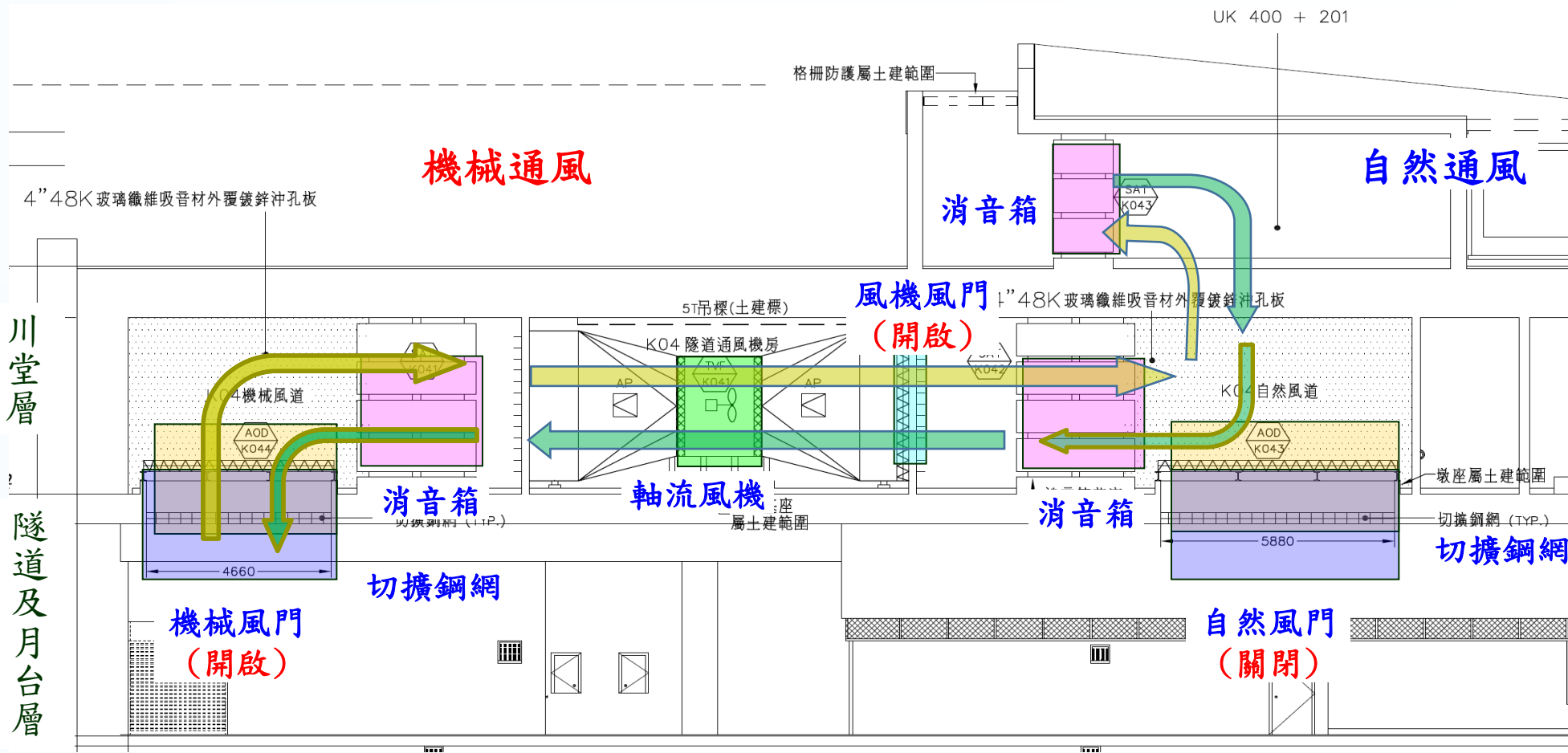


■ 正常模式-自然通風



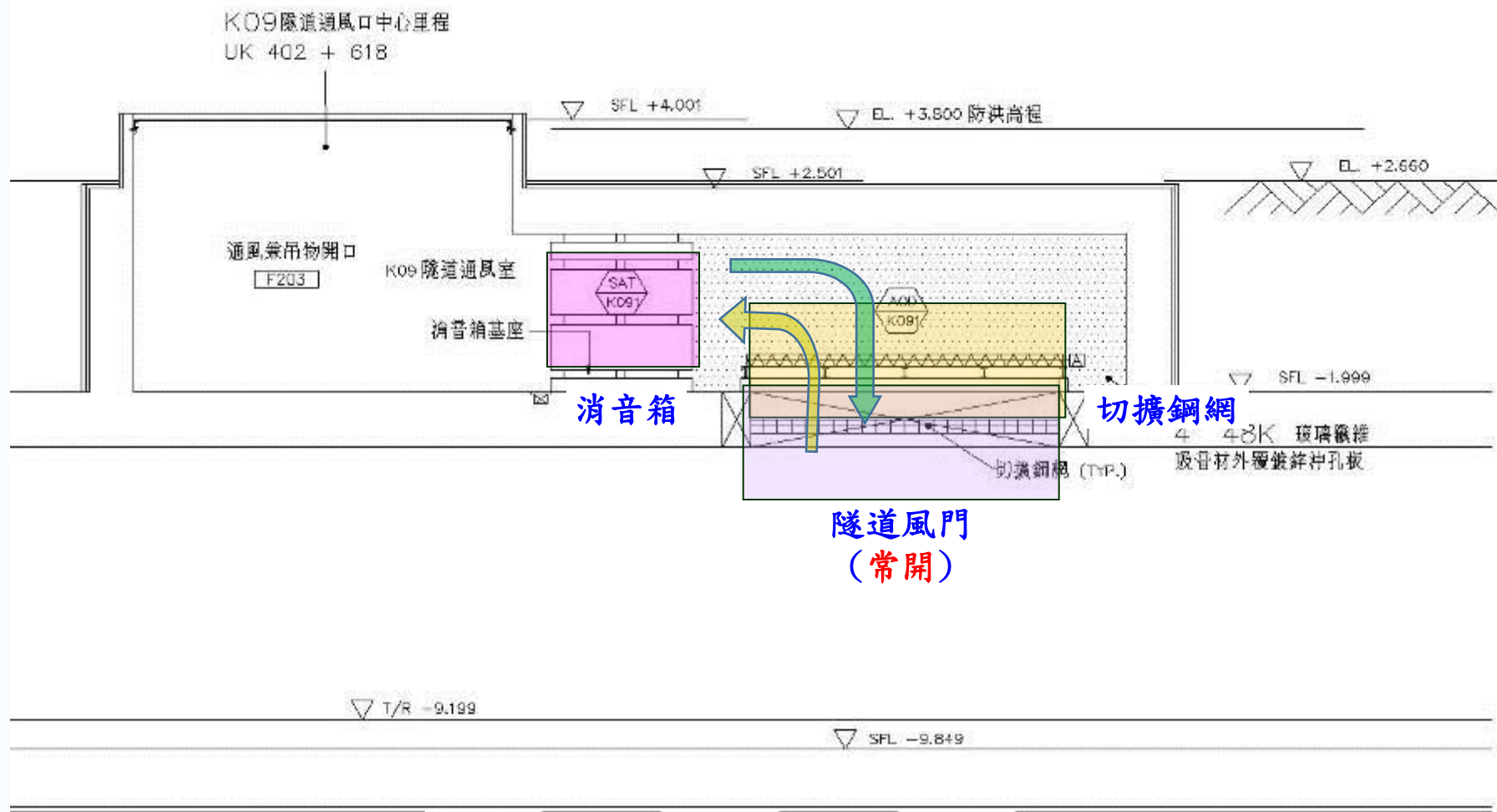


■ 塞車及緊急模式-機械通風





五、隧道自然通風口配置剖面圖





六、三維計算流體力學程式（FDS）模擬分析

- SES程式採用一維(1D)計算，對局部條件做更詳細的分析則顯然不足，為了確保地下車站及隧道之安全避難，設計時先採用CFD進行火災流場模擬分析，藉以補助判定其所設計之通風系統煙控性能，是合乎不同火災情境安全需求。
- 採用之工具為美國國家標準和技術研究院2010年所發表之 Fire Dynamics Simulator 5.5 (FDS 5.5) 模擬軟體。



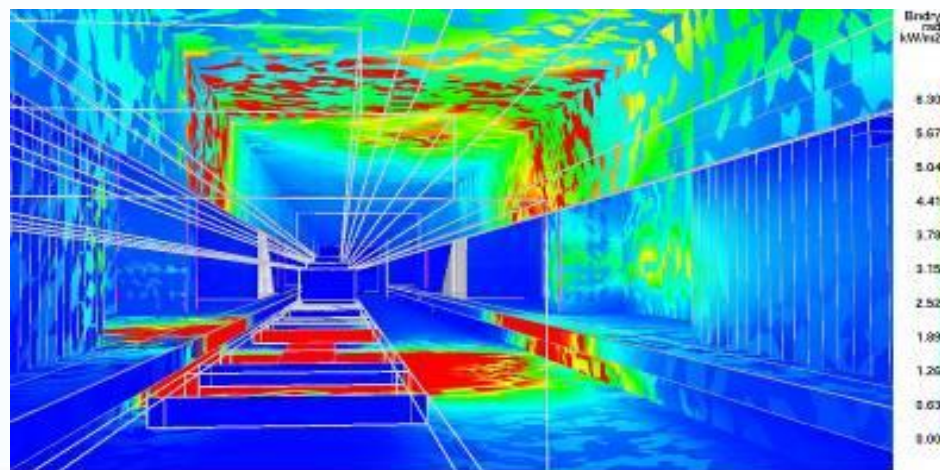


■ FDS模擬分析判定基準

車站月台區發生列車火災時，藉由三維環控模擬分析獲得不同火災情境之火場性質，如溫度、CO濃度及能見度分佈等，確認火災發生時可提供足夠的逃生路徑及時間。

NFPA 130之避難性能要求，4分鐘內離開月台，6分鐘內抵達安全地點。

項 目	判定基準
逃生空間溫度	$< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$
CO濃度	$< 1,500\text{ ppm}$
能見度	$> 10\text{ m}$
輻射熱強度	$< 6.3\text{ kW/m}^2$
煙層淨高	離地1.8 m以上



Power: 480
Time: 400.0

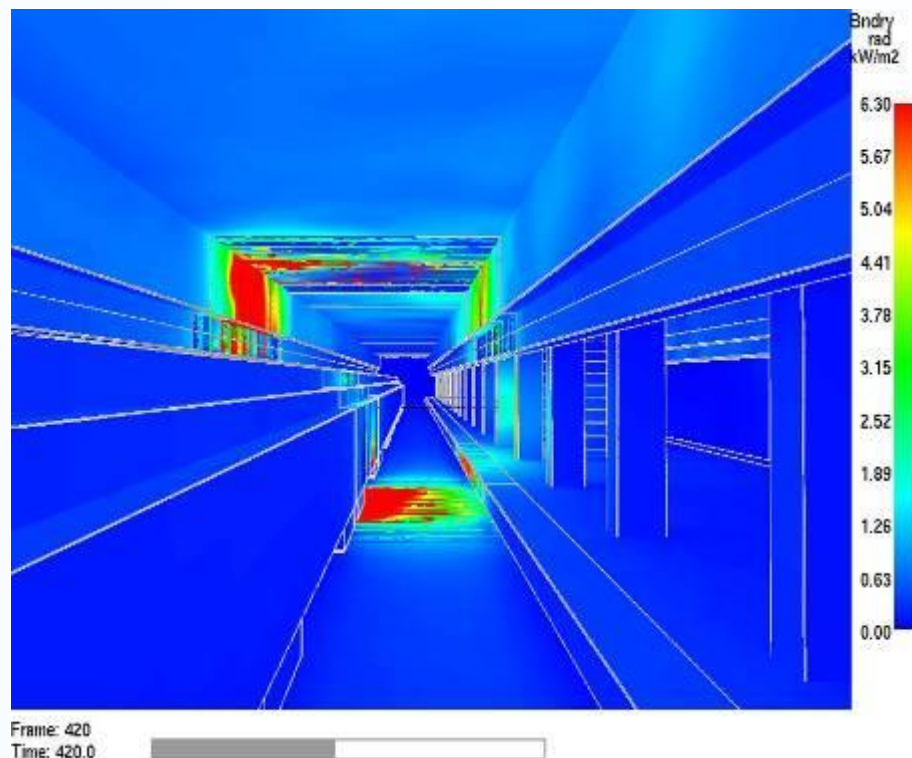


➤ 模擬分析-假設高雄車站月台層列車發生火災

假 設 項 目	輸 入 條 件
火源位置	列車中間
火災成長曲線	T-squared fire, Ultra-fast (極快速)
最大熱釋放率	30 MW
達到最大熱釋放率時間	73秒、163秒、278秒、400秒
火災模擬時間	900秒
月台層環境起始溫度	32.8 °C (同SES假設)
外界環境溫度	32.8 °C (同SES假設)
TVF容量	120 cms × 2
TVF運轉模式	假設TVF隧道通風機於 火災發生後180秒啟動 ，於 火災發生後210秒 ，或是啟動TVF隧道通風機後30秒， 達到風機全速運轉狀態 。
EAF容量	27.5 cms × 4
EAF運轉模式	假設EAF車站月台層排風機於開始時即設定為啟動，一直至模擬結束為止。
SAF容量	24.8 cms × 4
SAF運轉模式	假設SAF車站月台層送風機於開始時即設定為啟動，直到火災發生後180秒啟動TVF隧道通風機後，SAF車站月台層送風機才設定停止運轉。



➤ 模擬分析結果-輻射熱、煙層擴散



高雄車站列車中間發生30 MW火災之
輻射熱強度分佈圖 (360秒)

三塊厝站



民族站

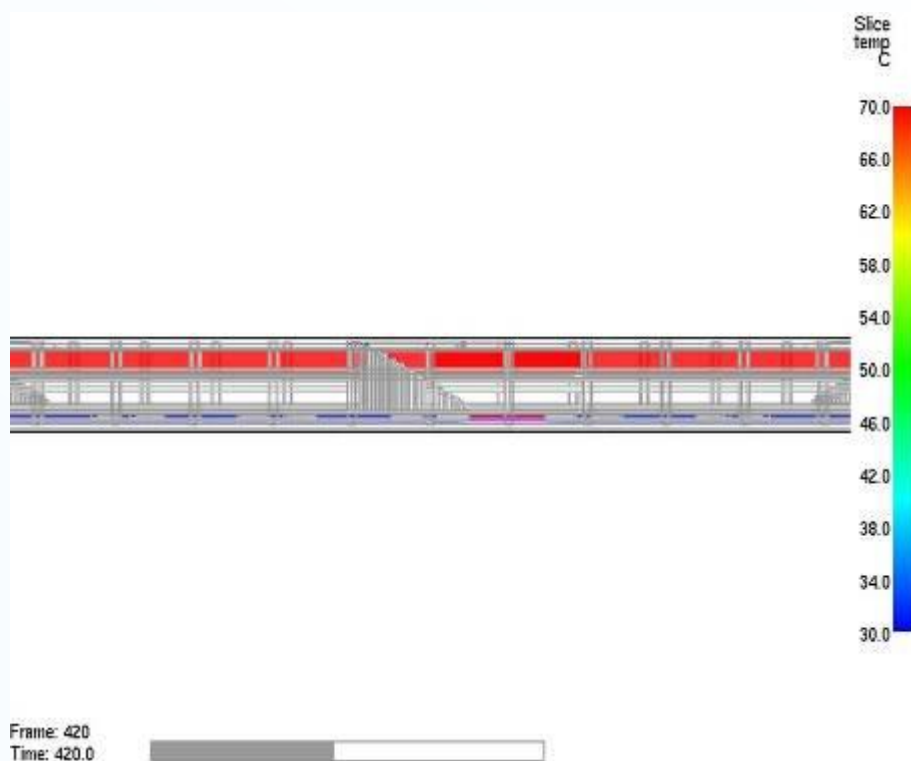


高雄車站列車中間發生30 MW火災之
煙層擴散圖 (360秒)

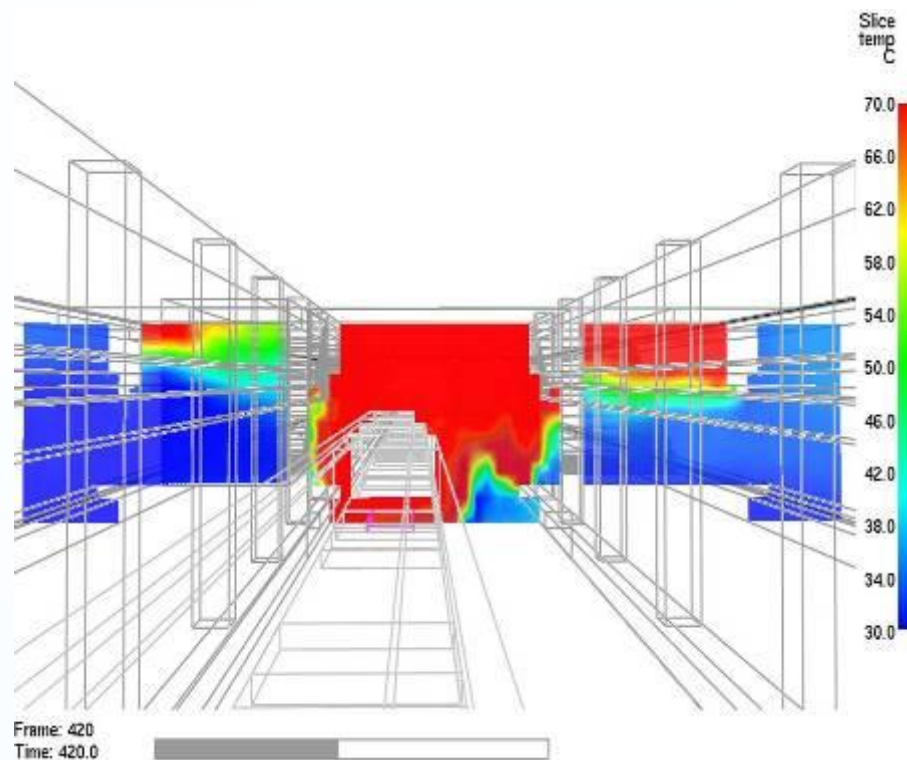




➤ 模擬分析結果-溫度分佈



高雄車站列車中間發生30 MW火災之
溫度分佈長向剖面圖（360秒）



高雄車站列車中間發生30 MW火災之
溫度分佈短向剖面圖（360秒）

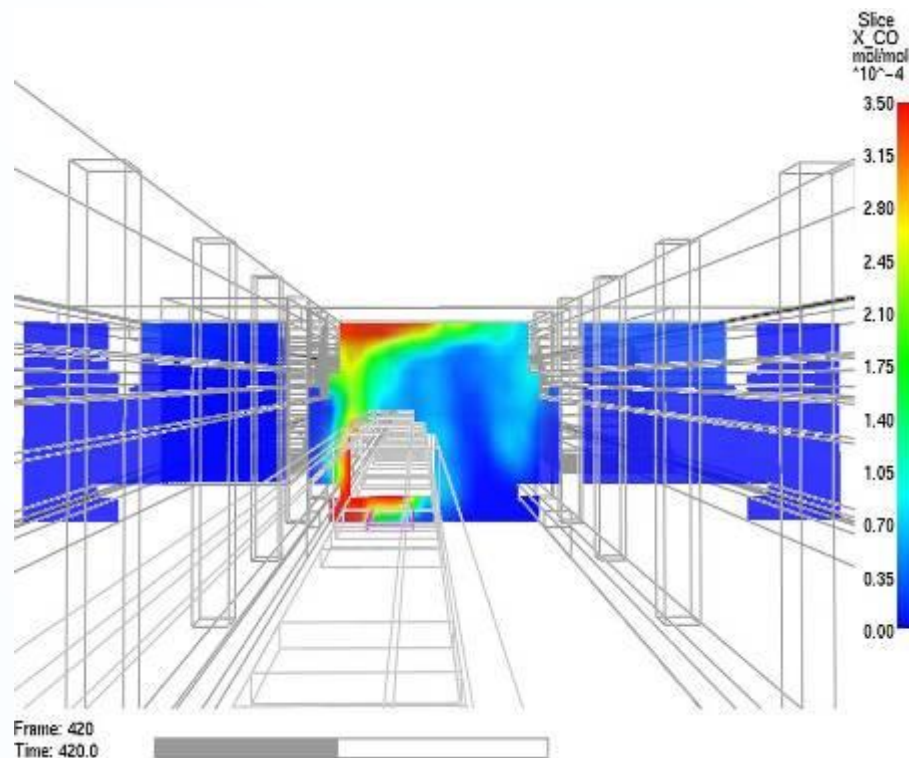




➤ 模擬分析結果-CO濃度



高雄車站列車中間發生30 MW火災之
CO濃度長向剖面圖（360秒）



高雄車站列車中間發生30 MW火災之
CO濃度短向剖面圖（360秒）

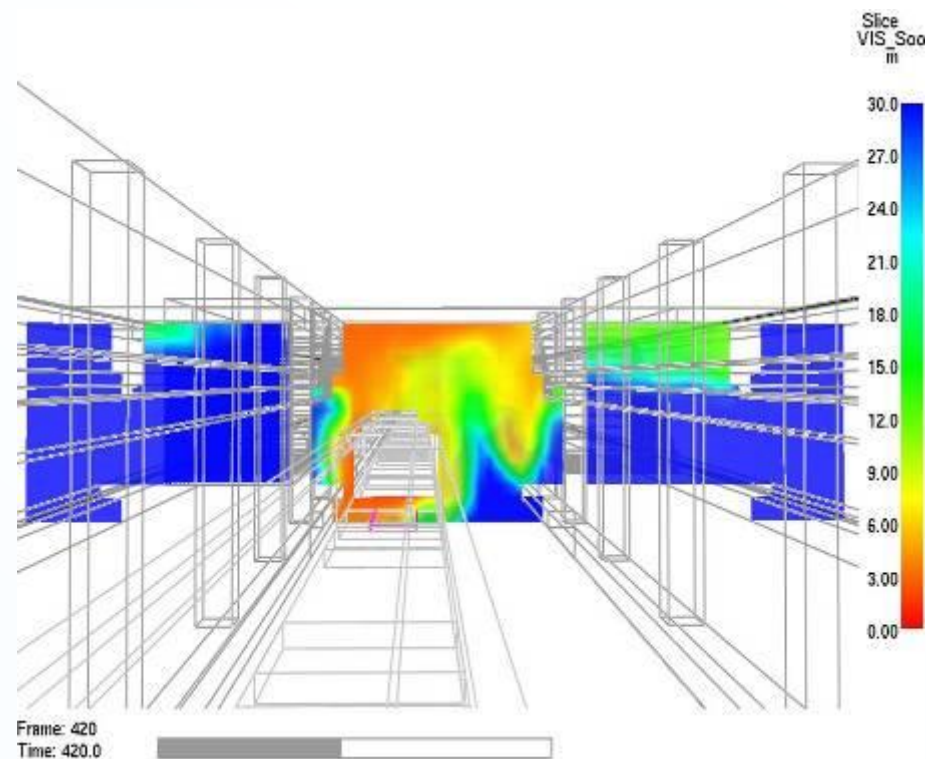




➤ 模擬分析結果-能見度



高雄車站列車中間發生30 MW火災之
能見度長向剖面圖（360秒）



高雄車站列車中間發生30 MW火災之
能見度短向剖面圖（360秒）



- 經由模擬結果得知，各項判定基準中溫度、CO濃度、能見度、與輻射熱強度等全都符合要求，皆能提供至少360秒之安全逃生環境。
- 利用專用軟體分析，透過隧道風機操作之組合，事故地點氣流速度能達到設計目標，可於高雄鐵路地下隧道區段提供乘客最大之安全保障。



肆、

高雄鐵路地下化 通風系統概況



一、設備簡介

■ 隧道通風機

- 規格
- 風量-120 CMS
- 靜壓(正向)-650 Pa
- 風扇轉速-890 rpm
- 氣流方向-正逆轉
- 風機效率(正轉)-76%
- 耐溫-300°C，1小時
- 廠牌-義大利CBI/昱鼎
- 第三公証-德國萊茵(TUV)





■ 風管

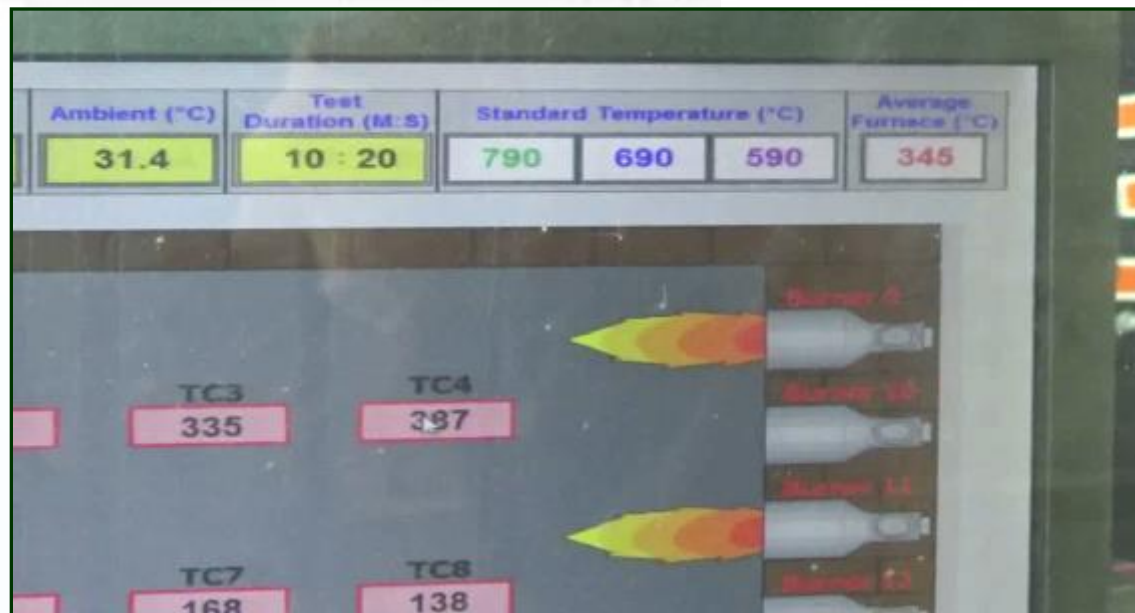
- 材質-4.5 mm不銹鋼
- 耐溫-300°C，1小時
- 洩漏測試-1kPa下洩漏量應在全風量之1%以下。





■ 隧道風門

- 型式-多片式風門
- 葉片-複板式
- 材質-不銹鋼
- 驅動方式-氣動
- 風壓損-風速10m/sec時，其壓損不得大於38 Pa
- 防火測試-不低於2Hrs防火等級
- 廠牌-德國TROX
- 第三公証-必維國際檢驗集團(BV)





■ 消音器

- 外殼為1.2 mm不銹鋼鋼板
- 結構於2kPa的壓力差時，其結構不能損壞
- 火焰擴散指數—25
- 煙發散等級—20
- 溫昇指數(填充料)—15
- 廠牌-香港EKAI





■ 壓縮空氣系統

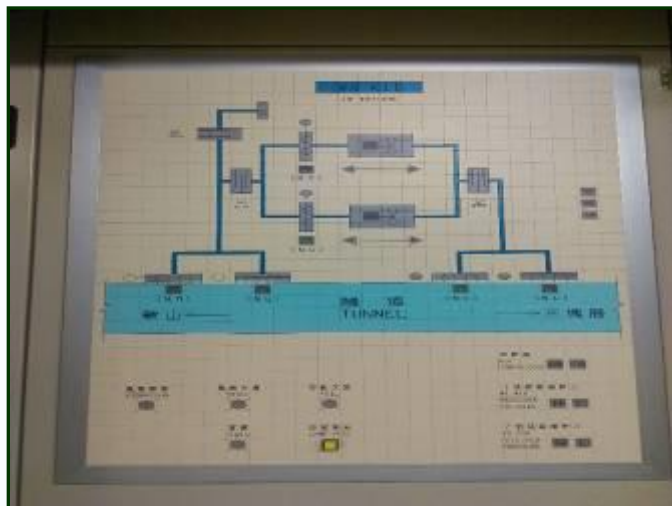
- 空氣壓縮機-氣冷往復式、2組交替運轉
- 空氣桶-碳鋼材質含3mm的腐蝕裕度、設計耐壓10 kg/cm²、操作壓力8.0 kg/cm²
- 儲氣量-操作所有驅動器，30秒內完成及系統斷電後仍能供應2次風門啟閉
- 廠牌-復盛





■ 電氣系統

- 箱體形式-NEMA12、垂直自立型
- 結構-2.3 t 以上
- 啟動盤-提供風機降壓啟動
- 馬賽克盤-提供風機手動操作模式及現場狀態顯示功能
- 廠牌-東元電機





二、施工流程



進料

切擴鋼
網安裝

風門
安裝

消音器
安裝

風機
定位

風管
組裝

空壓
安裝

電氣
安裝

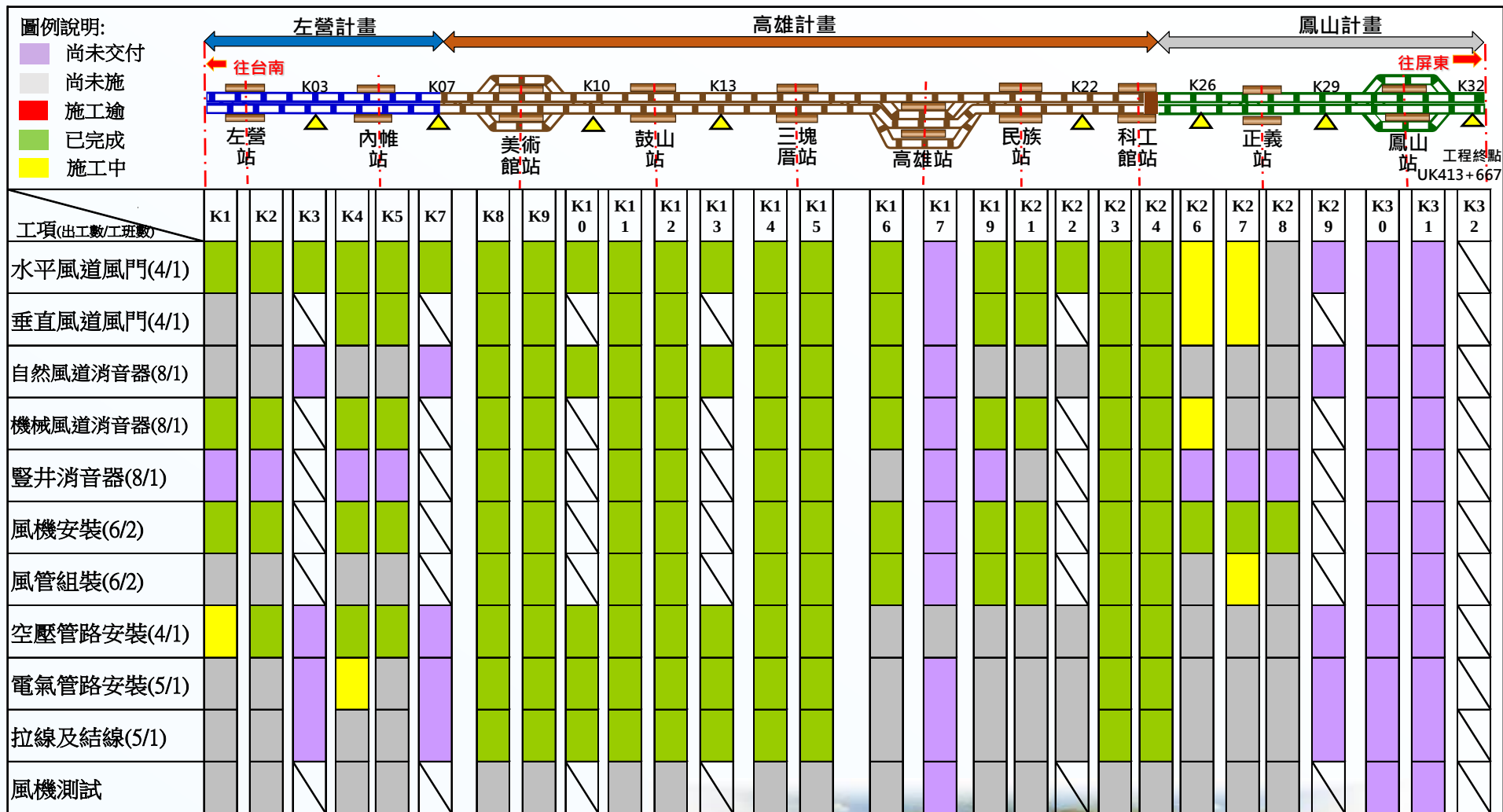
吸音材
安裝

系統
測試





三、施工進度



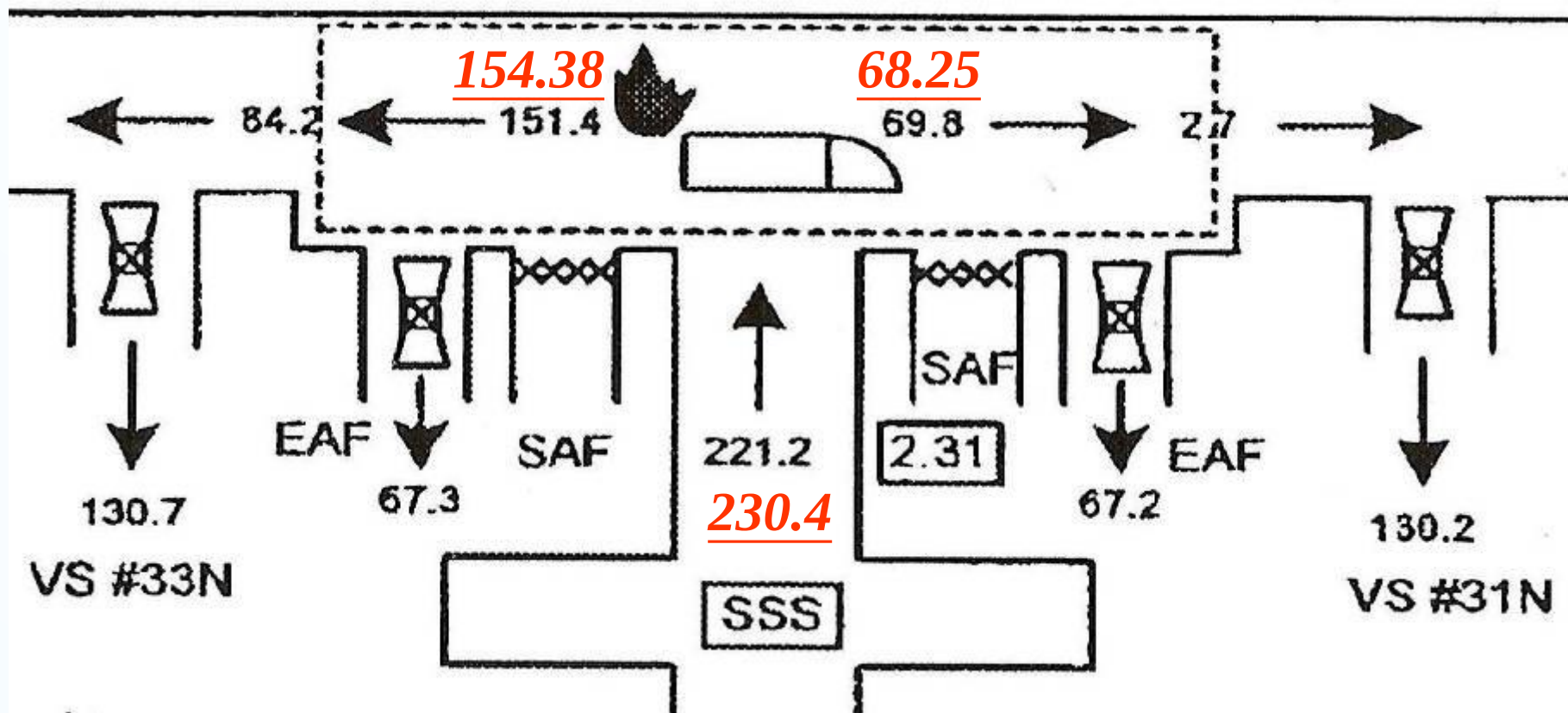


四、全尺度煙流模擬實驗案例-松山車站月台





■ 松山車站月台軌道區段列車車頭發生火災 實驗結果與 SES 模擬結果比對





簡報白田，敬請指教
簡報完畢！敬請指教

